

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Bakalářský studijní program: Strojírenství

Zaměření: Řízení výroby

ZVÝŠENÍ PRODUKTIVITY TECHNOLOGIE VRTÁNÍ VE FIRMĚ FORMCAD S.R.O. FRÝDLANT

INCREAS OF PRODUCTIVITY DRILLING TECHNOLOGIES IN FORMCAD S.R.O. FRÝDLANT

KOM - 1183

Martin Vrkoslav

Vedoucí práce: Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.

Konzultant: Ing. Jan Votava – Form Cad s.r.o.

Počet stran: 50

Počet příloh: 3

Počet tabulek: 13

Počet obrázků: 16

Počet grafů: 7

20.05.2012

ZVÝŠENÍ PRODUKTIVITY TECHNOLOGIE VRTÁNÍ VE FIRMĚ FORMCAD S.R.O. FRÝDLANT

ANOTACE:

Práce se zabývá zvýšením produktivity technologie vrtání na obráběcím centru MCV 1270 ve firmě FormCad s.r.o. Frýdlant.

Cílem této práce je návrh nových řešení, pro docílení zvýšení produktivity vrtání děr pro závity a imbus šrouby za udržení stávajícího objemu jejich výroby.

V teoretické části je popsána technologie vrtání jako celek a novinky v oblasti vrtání. Dále je zde uvedena analýza stávajícího stavu výroby.

Část experimentální je věnována vyhodnocení výsledků měření, návrhům na zlepšení a jejich zhodnocení.

INCREAS OF PRODUCTIVITY DRILLING TECHNOLOGIES IN FORMCAD S.R.O. FRÝDLANT

ANOTACION:

The thesis describes increas of productivity drilling technologies by machine center MCV 1270 in FormCad s.r.o. Frýdlant. The aim of this thesis is a propose of new solution, for increase of produktivity drilling holes for threads and allan screws.

There is the description of drilling technology as a whole in the theoretical part as well as the news in drilling area. This part contains the analysis of the current state in production too.

The experimental part pursues the evaluation of measurement results, proposals to improvements and their evaluation.

Klíčová slova: VRTÁNÍ, TECHNOLOGIE, PRODUKTIVITA

Key words: DRILLING, TECHNOLOGIES, PRODUCTIVITY

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: květen 2012

Archivní označ. zprávy:

Počet stran: 49

Počet příloh: 3

Počet tabulek: 13

Počet obrázků: 16

Počet grafů: 7

PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

20.5.2012

Martin Vrkoslav

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat mé vedoucí bakalářské práce Ing. Štěpánce Dvořáčkové, Ph.D., za poskytnutí cenných rad, pevné vedení a trpělivost.

Dále bych chtěl poděkovat za vstřícné jednání, cenné informace, pomoc a možné zpracování bakalářské práce ve firmě Form Cad s.r.o. Frýdlant panu Ing. Janu Votavovi.



Obsah

1 Úvod.....	9
2 Teoretická část.....	10
2.1 Technologie vrtání.....	10
2.2 Stroj.....	10
2.3 Nástroje.....	12
2.3.1 Technologické podmínky vrtání.....	14
2.4 Vývoj a novinky v oblasti vrtání.....	16
2.4.1 Vrtáky s břitovými destičkami.....	16
2.4.2 Monolitické vrtáky	17
2.4.3 Vysokovýkonné vrtáky ze speciálních řezných ocelí.....	18
2.4.4 Povlakování nástrojů.....	19
2.5 Popis stávajícího stavu výroby.....	20
2.5.1 Používaná technologie.....	21
2.5.2 Vlastnosti oceli 1.2343	21
3 Experimentální část.....	23
3.1 Metodika získání dat.....	23
3.1.1 Rozčlenění hodnot	23
3.2 Vyhodnocení naměřených vstupních hodnot.....	25
3.2.1 Čas operace přeostržení.....	26
3.2.2 Vstupní hodnoty pro průměr 14mm.....	27
3.2.3 Vstupní hodnoty pro průměr 22mm.....	28
4 Vlastní řešení.....	31
4.1 Shrnutí poznatků o současném stavu výroby.....	31
4.2 Návrh řešení pro vrtání průměru 14mm.....	32
4.2.1 Popis navrhovaného řešení.....	32
4.2.2 Hodnocení návrhu řešení pro vrtání průměru 14 mm.....	33
4.3 Návrh řešení pro vrtání průměru 22mm.....	36
4.3.1 Popis navrhovaného řešení.....	36
4.3.2 Hodnocení návrhu na zlepšení pro vrtání průměru 22 mm.....	37
5 Diskuze výsledků.....	41



6 Závěr.....	44
--------------	----



Seznam použitých zkratk a symbolů

HSS	- High Speed Steel – rychlořezná ocel
VBD	- vyměnitelná břitová destička
E.Z.	- ekonomické zhodnocení
ČSN	- československá norma
DIN	- Deutsche Industrie Norm – německá průmyslová norma
CNC	- Computer Numerical Control – číslicové řízení pomocí počítače
PVD	- Physical Vapour Deposition – fyzikální způsob povlakování
CVD	- Chemical Vapour Deposition – chemický způsob povlakování

1 Úvod

V dnešní době, kdy je konkurence ve všech odvětvích strojírenské výroby velmi vysoká, je snahou každého podniku zvyšovat svou produktivitu a zároveň snižovat výrobní náklady, aby jeho produkty měly co nejnižší cenu, při stále se zvyšujících nárocích na jakost výrobků.

Operace vrtání, které je tato bakalářská práce věnována, patří mezi nejběžnější a nejjednodušší způsoby výroby děr. I přesto je zde ale mnoho způsobů jak u této operace dosáhnout lepších výsledků. Jedním ze způsobů jak dosáhnout zvýšení produktivity u vrtání je snížení strojního času dané operace.

Tato bakalářská práce se zabývá zvýšením produktivity vrtání děr pro šrouby, jako před- operací k výrobě závitů ve firmě FormCad s.r.o. Frýdlant v Čechách.

Produktivitu je možné zvyšovat několika způsoby, ovšem jejich realizace je závislá na výšce možné investice a její návratnosti.

Cílem bakalářské práce je navrhnout nová řešení, kterými dosáhneme zvýšení produktivity výroby děr průměru 14 pro závit M16 a průměru 22 mm pro závit M24 a jako průchozí díry pro uložení imbus šroubů M20.

Práce je členěna do dvou hlavních částí, do části teoretické a části experimentální. V části teoretické je popsána technologie vrtání jako celek, novinky v oblasti vrtání - především nové rezné materiály a nástroje. Dále rozebírá současný stav výroby uvedených děr v daném podniku.

V části experimentální je popsána metodika měření, kterou byly získávány jednotlivé hodnoty a jejich zpracování do grafů.

Vlastním výstupem jsou pak návrhy nových řešení. Každý návrh je popsán a zhodnocen před zavedením změn a po jejich realizaci.

Důležitou součástí experimentální části je i ekonomické zhodnocení a diskuze výsledků. Zde jsou vypočítány náklady na zavedení nového řešení a jejich návratnost. Diskuze výsledků hodnotí práci jako celek.

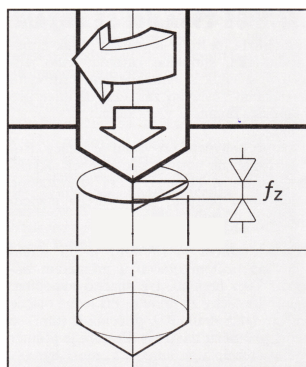
2 Teoretická část

V teoretické části je popsána technologie vrtání jako taková, novinky v oblasti vrtání a směr vývoje zlepšování nástrojů v technologii vrtání.

2.1 Technologie vrtání

Vrtání je jednou z nejstarších výrobních operací. Vrtání slouží k vytváření kruhových děr do plného materiálu z většinou dvoubřítým nástrojem. Zvětšování předvrtaných děr kruhového průřezu nazýváme vyvrtáváním. Při vrtání i vyvrtávání je hlavním řezným pohybem pohyb otáčivý. Ten z pravidla vykonává vrtací nástroj. Posuv, který také obvykle vykonává nástroj, je přímočarý ve směru osy nástroje. Řezná rychlost, která je důležitým měřítkem hlavního pohybu je obvodová rychlost vrtáku. Největší je tedy na obvodu nástroje a směrem ke středu se zmenšuje. V ose nástroje je nulová.

Posuv se udává v milimetrech za minutu nebo v milimetrech na jednu otáčku vrtacího nástroje. Značí se písmenem s , nebo f jak je uvedeno na obrázku 2.1. Posuv nám vytváří třísku určité tloušťky[1].



Obr. 2.1: T. Vrtání [22]

2.2 Stroj

Vrtačky jsou stroje, které se většinou používají k vrtání, vyhrubování, vystružování nebo k řezání závitů. Hlavní řezný pohyb koná vřeteno stroje ve kterém je upnut nástroj. Můžeme je rozdělit na stolní, sloupové, stojanové, radiální, souřadnicové a speciální.

Stolní vrtačka je tvořená stolem, sloupem a vřeteníkem, který nese motor, převodovku otáček a posuvů a vřeteno. Na sloupu je umístěn posuvný vřeteník, kterým se dá měnit vzdálenost nástroje od stolu. [1]

Sloupová vrtačka, viz obr. 2.3, má vřeteník stejný jako vrtačka stolní. Má ovšem delší sloup, na kterém je výškově stavitelný stůl. Obrobky se upínají přímo na stůl, ale v případě obrobku většího je možné upnout ho přímo na podstavec. [1]

Stojanová vrtačka, viz obr. 2.2, má robustní stojan, po kterém se pohybuje vřeteník a pracovní stůl. Jejich konstrukce z pravidla umožňuje vrtání děr do průměru 80 mm.

Radiální vrtačka, znázorněná na obrázku 2.4, má vřeteník posuvný po rameni, které je dále možno otáčet a přesouvat na sloupu. Ten je upevněn na základové desce, na kterou se také upínají obrobky. Pro vrtání velkých obrobků je možné rameno otočit mimo základovou desku a vrtat obrobek usazený na podlaze. [1]

Souřadnicové vrtačky jsou konstruované pro výrobu děr s vysokou přesností (IT 2 až IT 5) a přesnými roztečemi (až 0,002 mm) Můžeme se setkat se dvěma druhy. První má vřeteník pohyblivý na příčnicku a spolu s příčnickem je výškově stavitelný. U druhého provedení je vřeteník výškově přestavitelný na stojanu. Pohyb obrobku je pak zajišťován křížovým stolem. [1]

V dnešní době, se vrtačky jako takové příliš nepoužívají. Nejčastěji se s nimi můžeme setkat v menších nástrojárnách. Ve velkých výrobních závodech je používají spíše v dílnách údržby. Ve výrobě jejich funkci převzala velká obráběcí CNC centra, která dokáží zvládnout více operací, například spolu s vrtáním i frézovat. Výjimkou jsou souřadnicové vrtačky, které jak již bylo zmíněno výše, dokáží vrtat s vysokou přesností. [7]



Obr. 2.2:
Stojanová vrtačka
[19]



Obr 2.3: Sloupová vrtačka [20]

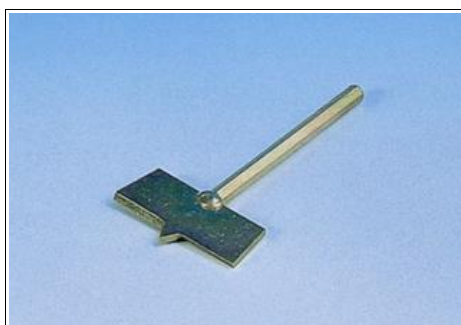


Obr 2.4: Radiální vrtačka [21]

2.3 Nástroje

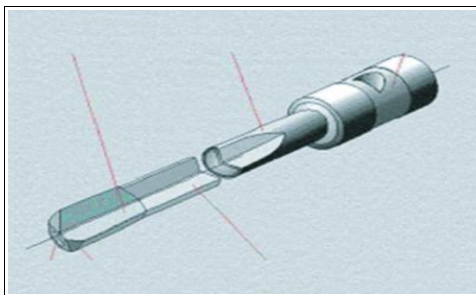
Nástroje pro vrtání se dělí dle mnoha kritérií. Nejzákladnější je dělení podle tvaru nástroje na kopinaté, středící, dělové a šroubovitě.

Kopinaté vrtáky, znázorněné na obrázku 2.5 jsou nejjednodušší a zároveň nejstarší druh vrtacího nástroje. Jejich hlavní řeznou část tvoří dva hlavní a jeden příčný břit. Kopinaté vrtáky se používají na výrobu krátkých děr větších průměrů. Jelikož je jejich značnou nevýhodou špatný odvod třísky z místa řezu, je také zapotřebí současně přivádět k místu řezu velké množství procesní kapaliny, která třísku odplavuje. [1]



Obr 2.5:Kopinatý vrták [17]

Středící vrtáky používáme k navrtávání středících důlků, pro zlepšení přesnosti polohy osy díry při vrtání šroubovitým vrtákem a k výrobě tvarových důlků pro upínání obrobků do hrotů.



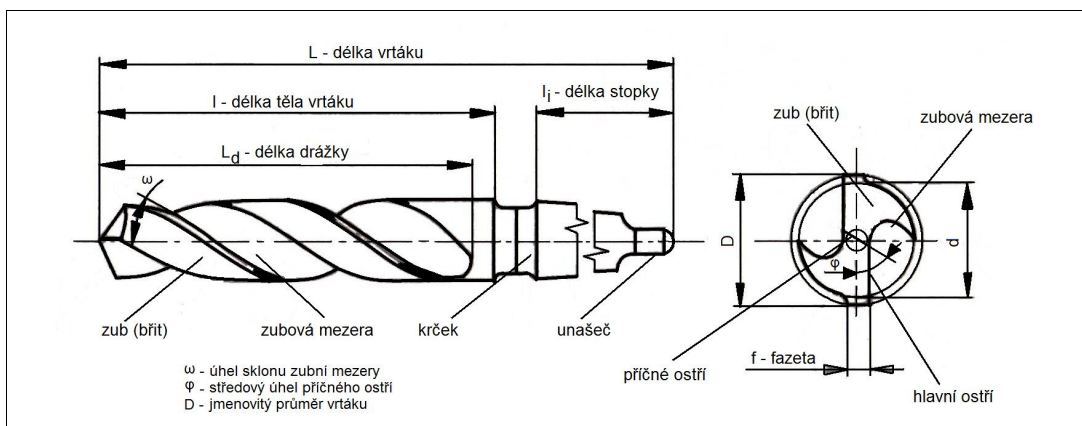
Obr. 2.6: Dělový vrták [22]

Dělové vrtáky, viz. obr. 2.6, se používají k výrobě hlubokých děr. Lze jimi vrtat díry v délce až několika stovek průměrů nástroje. Jejich konstrukce je vytvořena tak, aby vedení vrtáku v díře bylo co nejlepší a jejich tuhost zabránila vybočení vrtáku i při velmi velkých hloubkách. U těchto vrtáků je kinematika procesu jiná než u ostatních způsobů vrtání. Dělový vrták totiž koná pouze posuvný pohyb, zatímco hlavní řezný otáčivý pohyb koná obrobek. [2]

Nejpoužívanější nástroje pro vrtání jsou šroubovitě vrtáky, viz. Obr. 2.7. Většinou mají dva břity se šroubovými drážkami, které usnadňují odvod třísek z místa řezu. Jejich tvar je mírně kuželovitý, kdy nejmenší průměr je u stopky nástroje. Vrták má dvě hlavní ostří. Ta jsou položena symetricky k ose vrtáku a na jeho hrotu jsou spojená příčným ostřím. Ve vrtané díře je nástroj veden fazetkou, která se nachází na vedlejším ostří. Popis jednotlivých částí vrtáku je znázorněn na obrázku 2.8. [2]



Obr. 2.7: Šroubovitý vrták [18]



Obr. 2.8: Popis šroubovitého vrtáku [2]

Dalším často používaným nástrojem jsou stupňovité vrtáky, zobrazené na obrázku 2.9, které dokáží zároveň vrtanou díru zahloubit, osadit, srazit čelo atd.. Používají se často v sériové výrobě. Díky uspořené času na výměnu nástroje, zvyšují produktivitu výroby.



Obr. 2.9: Stupňovitý vrták
[16]

2.3.1 Technologické podmínky vrtání

Při vrtání se rozsah řezných podmínek pohybuje v širokém rozsahu v závislosti na druhu nástroje a obráběného materiálu. V porovnání se soustružením a frézováním jsou řezné rychlosti u vrtání nižší a to vzhledem k nepříznivým podmínkám, za kterých vrták pracuje. Břit nástroje je značně tepelně zatížen



z důvodu špatného odvodu vyprodukovaného tepla z místa řezu. Proto je při vrtání téměř vždy nutné použít procesní kapalinu, obvykle emulzi, která odvod tepla zajistí. [2]

Řeznou rychlost v_c , která je obvodovou rychlostí nástroje, spočítáme podle vztahu 2.1, kde D je průměr nástroje (mm) a n otáčky (min^{-1}).

$$v_c = \frac{\pi * D * n}{1000} \quad (\text{m} * \text{min}^{-1}) \quad (2.1)$$

Plochu třísky S , kterou odebírá jeden břit nástroje vypočteme pro vrtání do plného materiálu podle vzorce 2.2 a pro vrtání do předvrtané díry podle vzorce 2.3,

$$S = \frac{h * s_o}{z} = \frac{D}{2} \frac{s_o}{z} = a * b \quad (\text{mm}^2) \quad (2.2)$$

$$S = \frac{h * s_o}{z} = \frac{D - d}{2} \frac{s_o}{z} \quad (\text{mm}^2) \quad (2.3)$$

kde h je hloubka řezu, s_o je posuv na otáčku, z je počet břitů nástroje, a je tloušťka třísky a b je šířka třísky. Všechny výše uvedené hodnoty jsou v milimetrech.

Strojní čas t_s se při vrtání určí podle vzorce 2.5 z teoretické délky vrtání, náběhu a přeběhu. Teoretickou délku vrtáku ovlivňuje úhel nastavení hlavního ostří vrtáku K_r . [1]

Výpočet strojního času udává níže uvedený vztah 2.6:

$$t_s = \frac{l_{th} + l_n + l_p}{n * s} \quad (\text{min}) \quad (2.5)$$

$$l_{th} = l + \frac{D}{2} \cotg K_r \quad (\text{mm}) \quad (2.6)$$

Používané řezné podmínky pro jednotlivé materiály jsou znázorněny v tabulce číslo 1.

Obráběný materiál	Třída obrobitelnosti	Materiál nástroje	šroubovitě vrtáky		Vrtáky s VBD	
			v_c ($\text{m} * \text{min}^{-1}$)	s (mm)	v_c ($\text{m} * \text{min}^{-1}$)	s (mm)
Ocel 500 až 800 Mpa	13 až 14b	HSS	25 až 30	0,1 až 0,5		
		SK	50 až 70	0,05 až 0,2	200 až 300	0,04 až 0,1
Ocel 800 až 1000 Mpa	11 až 12 b	HSS	10 až 20	0,1 až 0,3		
		SK	40 až 60	0,05 až 0,1	170 až 250	0,06 až 0,2
Šedá litina 200 HB	11a	HSS	10 až 25	0,1 až 0,8		
		SK	40 až 100	0,1 až 0,05	210 až 280	0,1 až 0,2

Tabulka 1: Používané řezné podmínky [1]

2.4 Vývoj a novinky v oblasti vrtání

V dnešní době se každá z firem snaží ušetřit co nejvíce finančních prostředků, což znamená ušetřit při výrobě co nejvíce času, ovšem bez poklesu kvality výroby. Nejjednodušším způsobem jak zrychlit výrobní proces je zvýšit řezné rychlosti a trvanlivost nástrojů. Proto je na společnosti vyrábějící nástroje vyvíjen velký tlak po nových a lepších nástrojích, které dokáží zvyšovat produktivitu i přesnost výroby. Dalším důvodem proč inovovat nástroje jsou zvyšující se nároky na operace vrtání. Příkladem může být potřeba vrtání do tvrdších materiálů, zajištění vrtání velmi dlouhých otvorů, uspokojení vyšších nároků na přesnost a jakost obrobených děr atd.. Existují různé způsoby jak zdokonalit nástroj tak, aby vyhovoval z hlediska přesnosti i funkčním požadavkům současné moderní výroby.

2.4.1 Vrtáky s břitovými destičkami

Vrtáky s břitovými destičkami jsou vysoce výkonné nástroje, jejichž tělo je vyrobeno z konstrukční oceli vyšší pevnosti a řezná část nástroje je tvořena dvěma nebo více vyměnitelnými břitovými destičkami. V tělese vrtáku jsou vyfrézovány většinou dvě drážky zajišťující odchod třísek. Tyto nástroje se vyrábí většinou od průměru 12 mm. V dnešní době se dělají dva základní typy těchto vrtáků. Jedny mají klasické mechanický upínané břitové destičky (obr. 2.11) a u druhých měníme celou řeznou část najednou (obr. 2.10). Oba druhy můžeme opět rozdělit do dvou skupin. Na vrtáky s rovným čelem a s klasickým vrcholovým úhlem. [3]



Obr. 2.11: Vrták s VBD
[15]



Obr. 2.10: Vrták s vyměnitelnou
hlavou a vrcholovým úhlem [16]

Vrtáky s rovným čelem

Velkým pozitivem těchto vrtáků je, že s nimi lze bez jakýchkoli problémů vrtat i do šikmých ploch. Další výhodou, ale někdy i nevýhodou je, že umějí, nebo spíše musí vrtat do plného materiálu. Výhoda je zde evidentní, odpadá nám nutnost předvrtání, jako je to u běžných vrtáků z rychlořezné oceli. Nevýhodou se tato vlastnost stává v momentě, kdy máme jako polotovar odlitek s již předlitou dírou. V tomto případě pak musíme zvolit nástroj s klasickým vrcholovým úhlem. Další nevýhodou, nebo spíše omezením v použití je nutnost vnitřního chlazení.

Vrtáky s klasickým vrcholovým úhlem

U nástrojů této konstrukce se oproti předcházejícímu druhu mění některé nevýhody ve výhody a naopak. Tyto vrtáky tedy slouží i k vrtání již předvrtaných nebo předlitých děr. Ovšem vrtání do šikmých a nerovných ploch je možné pouze za použití vrtacího pouzdra. Nutnost vnitřního chlazení zde odpadá. [3]

2.4.2 Monolitické vrtáky

Na výrobu monolitických vrtáků, viz obr. 2.12, se nejčastěji používají slinuté karbidy. Díky své tuhosti a tvrdosti patří mezi nejpresnější a nejproduktivnější nástroje v oblasti vrtání otvorů. Ovšem jejich cena je u větších průměrů vysoká, a tak mnoho firem dává přednost u velkých průměrů vrtákům s VBD. Monolitické vrtáky se dají ještě rozlišit podle mnoha kritérií. Například podle druhu chlazení, velikosti zrna, způsobu upínání, geometrie břitu nebo druhu tipu povlakování.



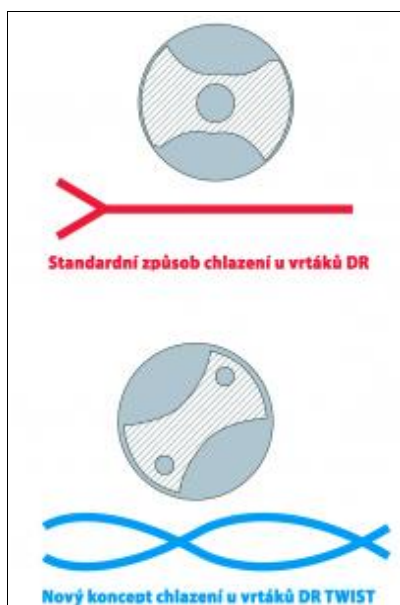
Obr. 2.12: Karbidový monolitický vrták

Bez vnitřního chlazení

U vnějšího chlazení nástroje je problém s odvodem třísek při větších hloubkách vrtaných děr. Většinou se tedy vyrábějí v řezných délkách tří a pětinašobku jmenovitého průměru vrtáku.

S vnitřním chlazením

Zde nám odpadá problém s odvodem třísek a proto se dají použít i na hlubší otvory. Standardně vyráběné délky jsou $3xD$, $5xD$ a $8xD$, kde D je jmenovitý průměr vrtáku. Systém vnitřního chlazení je také stále vylepšován. Dnes se můžeme setkat s vrtáky, které mají vnitřní chladicí otvory do šroubovice. Příkladem, může být vrták s označením DR Twist od firmy Iscar. Toto řešení umožňuje zvětšení prostoru drážky pro odvod třísky o více než 10% oproti klasickému vrtáku s chladicím otvorem vedeným středem vrtáku, viz obr 2.13. Dalším důležitým efektem je také zvýšení torzní pevnosti jádra nástroje, které již nezeslabuje průchozí otvor v jeho středu. [4]



Obr. 2.13: Způsoby vnitřního chlazení [4]

2.4.3 Vysokovýkonné vrtáky ze speciálních rezných ocelí

Velkou nevýhodou vrtáků ze slinutého karbidu i u vrtáků s VBD je nutnost použití stroje s vysokou tuhostí a možností vysokých otáček. Proto se téměř nedají použít na starších strojích. Je to zapříčiněno tím, že karbidy jsou při své extrémní tvrdosti i křehké a na strojích s nižší tuhostí by mohlo docházet k vyštipování a vylamování břitu. Investice do nových strojů je velice nákladnou záležitostí, proto se většina menších firem se staršími stroji musela spolehnout na klasické vrtáky

z rychlořezné oceli i za cenu nízké produktivity výroby. Ovšem inovátoři nástrojů přišli s novinkou, která se svou produktivitou alespoň blíží vrtákům ze slinutých karbidů a i přesto je lze používat na starších strojích s nižší tuhostí a otáčkami. Jsou to například nástroje s označením HPD nebo HPD-SUS, které na trh dodá firma YG-1, kterou na českém trhu zastupuje společnost Grumant. [3]

Vrtáky označené HPD-SUS (*High Performance Drill for Stainless Steel*) mají vysoký obsah vanadu a svou geometrií a povlakem TiN jsou předurčeny pro vrtání nerezových ocelí, měkkých ocelí a dalších, jim podobných materiálů. Na český trh jsou dodávány v průměrech od 2 do 20 mm a ve dvou řezných délkách 3x D a 5x D. [3] Řezné podmínky těchto vrtáků se oproti karbidovým velice liší. Mají totiž nižší otáčky ale za to vyšší posuv.

Vrtáky označené HPD (*High Performance Drill*) jsou na bázi HSS Co se speciální geometrií a povlakem TiN, který umožňuje produktivně vrtat do materiálů s pevností do 1100 N.mm^{-2} , jako jsou např. nástrojové oceli, slitinové oceli, litina, hliník, slitiny hliníku, a jim podobné. Řezné podmínky se opět výrazně liší od vrtáků ze slinutých karbidů. Opět jsou u nich nižší otáčky, ale vyšší posuv. Firma YG-1 tyto vrtáky dodává na trh ve dvou délkových provedeních 3x D a 5x D s válcovou stopkou v průměrech od 2 do 20 mm a v provedení 5x D se stopkou Morse pro průměry 13 až 32 mm. [3]

Mimo výše zmíněných vrtáků můžeme také narazit na nové nástroje ze spékané oceli, které se v produktivitě také velice přibližují k vrtákům ze slinutých karbidů a také se dají použít na starších strojích.

2.4.4 Povlakování nástrojů

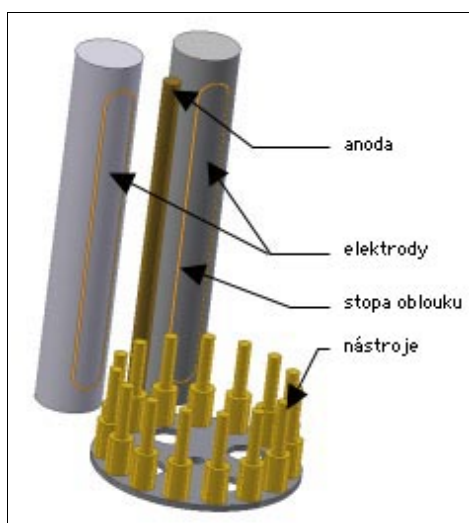
Další často inovovanou součástí nástrojů jsou jejich povlaky a materiály, ze kterých se řezné části vyrábějí. Každý povlak se hodí k jinému materiálu do jiných řezných podmínek. Rozlišujeme z principu dva druhy způsobů povlakování nástrojů a to PVD a CVD.

Metoda CVD, tedy Chemical Vapor Deposition využívá pro nanesení směs chemicky reaktivních plynů.

Metoda PVD, tedy Physical Vapor Deposition, je založena na principu odpaření, nebo odprášení materiálů obsazených v povlacích a jejich následném

nanesení na povrch nástroje. V technické praxi se nejčastěji používají dvě metody založené na tomto principu. A to magnetonové naprašování a odpařování nízkonapěťovým obloukem (na obrázku 2.14). [5]

V současné době se nejčastěji používá metoda PVD. Tloušťka CVD povlaku se totiž pohybuje mezi 5-15 μm , zatímco u PVD je to 2-6 μm . CVD povlaky při nanášení na povrch navíc vytvářejí nepříznivé povrchové tahové napětí, zatímco PVD povlaky vytvářejí napětí tlakové. [6]



Obr. 2.14: Metoda PVD [8]

2.5 Popis stávajícího stavu výroby

Předkládaná bakalářská práce řeší problematiku zvyšování produktivity vrtání ve firmě FormCad s.r.o., Frýdlant v Čechách.

Firma se zabývá malosériovou, zakázkovou i kusovou výrobou, kde sortiment výrobků tvoří modely a formy pro tlakové a gravitační lití, postupové lisovací nástroje, ostříhovadla na odlitky, objemové měřicí přípravky, prototypové díly atd..

Hlavním cílem této práce je zvýšení produktivity vrtání otvorů pro imbus šroub se závitem M16 a M24 na vodící liště pro vstřikovací formu, viz příloha 2. Pro výrobu výše uvedených závitů se předvrtávají díry o \varnothing 14mm a o \varnothing 22mm. Materiál polotovaru je nástrojová ocel 1.2343, dle ČSN 19552.

2.5.1 Používaná technologie

V současné době se na výrobu vodící lišty používají vrtáky z rychlořezné oceli s kuželovou stopkou ČSN 22 1140. Výroba se provádí na obráběcím centru MCV 1270 vyobrazeném na obrázku 2.15. Výrobce uvedeného stroje je česká firma Kovosvit Mas.

Při vrtání se používá strojní chlazení procesní kapalinou Cimperial od společnosti Cimcool ředěnou na 5% emulzi pod tlakem až 2 MPa. Mezi vybavu tohoto centra patří i možnost vnitřního chlazení nástroje, což bude využito při návrhu řešení na zvýšení produktivity výroby. [14]



Obr. 2.15: MCV 1270 [9]

2.5.2 Vlastnosti oceli 1.2343

Obráběným materiálem je vysoce legovaná chrom – molybden – křemík – vanadová ocel s velmi dobrou prokalitelností a vysokou pevností za tepla. Chemické složení je znázorněné v tabulce číslo 2. Uvedená ocel má velmi dobrou houževnatost a plastické vlastnosti při normálních i zvýšených teplotách. Dále vykazuje velmi dobrou odolnost proti vzniku trhlinek tepelné únavy a malou citlivost na prudké změny teploty. Ocel je vhodná pro tepelné zpracování i na pevnosti přes 1800 N/mm^2 a na nástroje chlazené vodou. Je dobře tvárná za tepla a dobře obrobitelná ve stavu žíhaném na měkko. [11]

Teplotní vlastnosti oceli 1.2343 jsou:

- teplota kování 1100 až 850 °C,
- teplota pro žíhání na měkko 780 až 820 °C,
- teplota žíhání ke snížení pnutí 700 až 750 °C,
- teplota pro kalení vzduchem 1000 až 1050 °C,
- teplota pro popouštění 600 až 650 °C, [12]

Ocel se používá pro formy, na pevné a pohyblivé díly jádra a na jiné části forem pro tlakové lití slitin hliníku a velké série odlitků slitin zinku a hořčíku. Dále se používá na nástroje pro tváření za tepla (velmi namáhané malé a středně velké zápustky a vložky zápustek). Vhodné jsou pro výrobu matic, trnů, čelistí a razníků zejména s vysokou pevností přes 1800 N/mm² chlazené vodou. Využíváme ji i na velmi namáhané průtlačníky a jiné pomocné nástroje pro protlačování neželezných kovů za tepla, průtlačnice na hliník a jeho slitiny, nástroje pro stříhání za tepla, např. malé a středně velké nože nůžek, ostříhovací matrice a prostříhovací trny. [11]

C - uhlík	0.32-0.42 %
Mn - mangan	0.2-0.5 %
Si - křemík	0.8-1.2 %
Cr - chrom	4.5-5.5 %
Mo - molibden	1.1-1.6 %
V - vanad	0.35-0.6 %
P - fosfor	max. 0.3 %
S - síra	max. 0.3 %

Tabulka 2: Chemické složení [11]

3 Experimentální část

Experimentální část bakalářské práce se zaměřuje na prezentování a vyhodnocení dat, získané pozorováním a experimentálním měřením. Věnuje se také návrhům na zvýšení produktivity a jejich porovnání mezi sebou a se současným stavem výroby. Součástí je také vyhodnocení přínosů navrhovaného řešení.

3.1 Metodika získání dat

Práce je zaměřena na zvýšení produktivity výroby pomocí snížení strojního času operace vrtání. Současný způsob výroby daných otvorů je zastaralý, neproduktivní a plně nevyužívá možnosti obráběcího centra. Dalším důvodem je také velké opotřebenění nástroje při vrtání do výše zmíněné nástrojové oceli (kapitola 2.5.2). Ve výrobě se kontrola opotřebenění nástroje provádí vizuální kontrolou a to samotnou obsluhou obráběcího centra.

Jelikož je řešena uvedená problematika u vrtání 2 průměrů, jak již bylo zmíněno v úvodu této práce, bude pozornost věnována každému průměru zvlášť.

V rámci řešení byl zkoumán strojní čas, opotřebenění nástroje a ekonomika roční produkce. Na jakost povrchu a přesnost nebude brán zřetel, protože se jedná, o výrobu děr pro imbus šrouby.

Pro statistické výpočty a grafické zobrazení dat byla použita platforma „sešit“ z programu Open Office.

3.1.1 Rozčlenění hodnot

Strojní čas

Strojní čas operace byl získán z programu Heidenhain zadaného do CNC obráběcího centra, které se tímto programem řídí. Výpočet strojního času podle daných řezných podmínek by byl složitý, jelikož by musel zahrnovat cyklus pro přerušení třísky, kterým stroj pracuje.

Změnou řezných podmínek se výrazně změnil i strojní čas, který byl následně zapsán do příslušné tabulky.

Opotřebení nástroje

Opotřebení nástroje kontroluje obsluha výrobního centra. Vyhodnocení míry opotřebení a rozhodnutí, zda nástroj půjde na přebroušení je pouze na obsluze. Tato kontrola se provádí pouze vizuálně. Opotřebení nástroje se tedy v našem případě vztahuje na počet vyvrtaných děr bez nutnosti přeastření vrtáku. Hodnoty byly získány pozorováním výroby a zapisováním počtu vyvrtaných děr bez nutnosti přeastření do tabulky. Postup byl proveden pro oba uvedené průměry a každé jejich řezné podmínky zvlášť.

Ekonomika roční produkce

Ekonomika roční produkce nám ukazuje, jaký ekonomický dopad má změna nástroje, nebo řezných podmínek na roční produkci stroje.

Celková kalkulace se skládá ze čtyř jednotlivých bodů: nákladů na nástroj, nákladů na stroj a režii, nákladů na obsluhu a na konec zisk. Výsledkem je graf, ukazující poměr nákladů na stroj a režii, nákladů na nástroj, nákladů na obsluhu a zisk. Postup výpočtu je blíže popsán v následujícím bodě.

Náklady na nástroj

Pro objektivní vyhodnocení bylo třeba do výpočtu nákladů na nástroj zahrnout jeho cenu a náklady na jeho přeastření. Jelikož se jednalo o klasický šroubovitý HSS vrták, který se brousí přímo na dílně, bylo třeba do výpočtu zahrnout čas nutný k jeho přeastření. Jak byl čas přeastření získán, je popsáno níže.

Celkové náklady na nástroj pro roční produkci byly tedy získány sečtením nákladů na přeastření s cenou nástroje.

Pro výpočet celkových nákladů na přeastření, bylo nejprve nutné spočítat kolikrát do dosažení roční produkce děr bude třeba nástroj přeastřit. Roční produkce děr byla vydělena počtem děr, které nástroj vyvrtá bez nutnosti přeastření.

Celková cena přeastření byla získána vynásobením počtu potřebných přeastření, času na jedno přeastření a hodinovou sazbou operátora.

Čas na přeastření nástroje byl získán měřením času, který každý pracovník na operaci přeastření potřebuje. Jednotlivé časy byly měřeny pomocí kalibrovaného měřidla časových intervalů = stopky zn. Spokey Asomar.

Měření bylo provedeno pro každý průměr vrtáku zvlášť. Pro získání času na přeastření nástroje o průměru 22 mm byl čas změřen pro každého operátora 9x.

Celkem bylo tedy naměřeno 45 hodnot. Při přeostržení nástroje o průměru 14 mm byl počet měření z důvodu vyšší trvanlivosti zmenšen na dvě měření pro každého operátora. Celkem bylo tedy naměřeno 10 hodnot. Zjištěné časy byly následně statisticky zpracovány pro další matematické výpočty, kde byl používán aritmetický průměr uvedených hodnot.

Při ostření vrtáku postupuje operátor tak, že, nástroj vyjme ze stroje, vloží do kuželového držáku, vyjme vrták z vrtací hlavičky morze kužele, přejde k brusce nástrojů, upne vrták do přípravku a přeostrší. Následně vyjme vrták z přípravku, založí ho do hlavičky kužele, vloží do stroje a v měřicím cyklu změří jeho délku.

Náklady na stroj a režii

Podle informací od firmy FormCad s.r.o. jsou náklady na stroj a režii 630 Kč na hodinu. Náklady na roční produkci byly proto získány vynásobením této částky počtem hodin, za který daný nástroj dokáže vyrobit celý objem roční produkce.

Náklady na obsluhu

V tomto bodě byl postup stejný jako v bodě předchozím, jen místo nákladů na režii bylo násobeno hodinovou sazbou obsluhy. Ta činí průměrně 200 Kč na hodinu.

Zisk

Zisk zajímá výrobce samozřejmě nejvíce. Jeho výše byla zjištěna odečtením uvedených zmíněných nákladů od účtované sazby za práci stroje. Ta byla vypočítána vynásobením času na roční produkci sazbou stroje, která je 1000 Kč za hodinu. V nástrojárnách srovnatelných s firmou FormCad s.r.o je běžný zisk 4 – 12%.

3.2 Vyhodnocení naměřených vstupních hodnot

Uvedená kapitola je věnována vyhodnocení naměřených hodnot, získaných podle metodiky popsané v kapitole 3.1. Vyhodnoceny byly pouze hodnoty vstupní, tedy ty, které byly získány před zavedením změn ve výrobě.

Pro objektivní vyhodnocení naměřených hodnot bylo použito následujících statistických veličin: aritmetický průměr (3.1), rozptyl (3.2) a směrodatná odchylka (3.3).

Aritmetický průměr vyjadřuj průměrnou hodnotu všech naměřených hodnot.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i, (3.1)$$

Díky rozptylu a směrodatné odchylce lze určit, jak daleko se nachází hodnota naměřená od hodnoty průměrné.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2, (3.2)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}. (3.3)$$

3.2.1 Čas operace přestření

Čas potřebný k přebroušení nástroje je důležitou součástí výpočtů. V tabulce číslo 3 jsou uvedeny časy práce jednotlivých operátorů. Při porovnání dílčích časů je patrné, že se od sebe dost liší. Důvodem je, že se operace přestření skládá z mnoha úkonů, u kterých se může vyskytnout mnoho rušivých faktorů. Příkladem může být ztížení vyjmutí nástroje z vrtací hlavičky morze kužele, nebo prodloužení času potřebného k vyjmutí nástroje ze troje.

Čas přestření HSS vrtáku průměr 14mm						
A	B	C	D	E	X	σ
8,33	8,06	8,59	8,33	9,05	8,64	0,366
9,17	8,62	9,13	8,78	8,32		
Čas přestření HSS vrtáku průměr 22 mm						
A	B	C	D	E	X	σ
8,97	9,65	8,92	9,12	9,30	8,96	0,364
9,70	8,60	8,35	8,21	9,22		
9,32	9,21	8,77	8,62	8,79		
8,54	9,44	9,24	8,88	9,12		
8,77	8,65	9,11	9,22	8,21		
9,32	9,21	8,43	8,79	8,88		
9,65	8,92	9,12	9,21	8,65		
8,54	9,02	8,43	8,97	9,44		
8,87	9,12	8,98	8,69	8,89		

Tabulka 3: Čas operace přestření

3.2.2 Vstupní hodnoty pro průměr 14mm

U HSS vrtáku o průměru 14 mm byla zjišťována trvanlivost nástroje pro dva druhy řezných podmínek. Důvodem bylo zjistit, zda snížená řezná rychlost a zvýšená

trvanlivost nástroje, měla pozitivní vliv na ziskovost výroby. Naměřené hodnoty pro uvedené podmínky jsou zpřehledněny v tabulce číslo 4.

<i>podmínky</i>	<i>Posuv (mm/min)</i>	<i>Otáčky (1/min)</i>	<i>Čas (s)</i>	<i>Hloubka díry</i>	<i>Trvanlivost (počet děr)</i>
Používané 1	55	450	75	50	120
výrobce	65	462	66	50	100

Tabulka 4: Vstupní hodnoty pro \varnothing 14mm

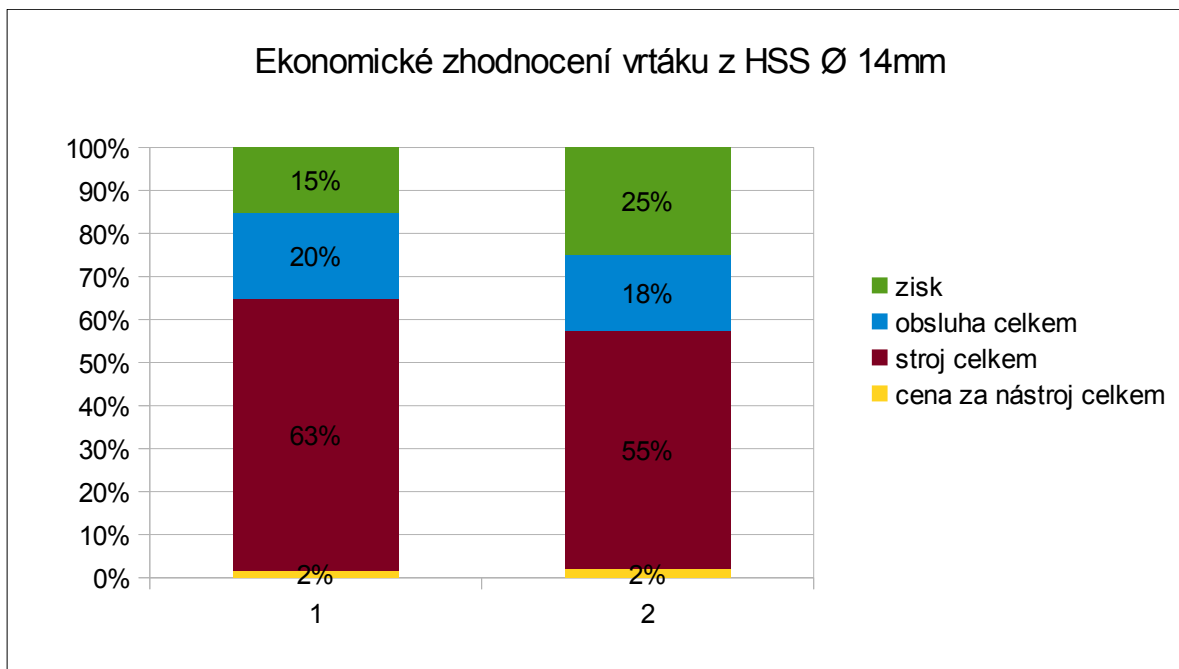
Výběr nejefektivnějšího nastavení

Při výběru nejefektivnějšího nastavení stroje je hlavním měřítkem ekonomické hodnocení. Hodnoty potřebné k vypočtení ekonomiky roční produkce a hodnoty výpočtem získané, jsou zaznamenány v tabulce číslo 5 a následně zpřehledněny v grafu číslo 1.

Název	Používané 1	Výrobce
roční produkce [ks]	2500,00	2500,00
Trvanlivost [ks]	120,00	100,00
čas na díru [s]	75,00	66,00
děr/h	48,00	54,55
čas na roční produkci [h]	52,08	45,83
počet přebroušení [ks]	20,83	25,00
čas přebroušení [min]	8,64	8,64
čas přebroušení celkem [h]	3,00	3,60
cena přebroušení [Kč]	600,00	720,00
cena nástroje [Kč]	350,00	350,00
cena za nástroj celkem [Kč]	950,00	1070,00
stroj na hodinu [Kč]	630,00	630,00
stroj celkem [Kč]	32812,50	28875,00
obsluha na hodinu [Kč]	200,00	200,00
obsluha celkem [Kč]	10416,67	9166,67
výdaje celkem [Kč]	44179,17	39111,67
sazba celkem [Kč]	52083,33	45833,33
Zisk [Kč]	7904,17	12971,67

Tabulka 5: Ekonomika roční produkce pro vrtání průměru 14 mm

Z grafu číslo 1 jasně vyplývá, že změna řezných podmínek sice měla za efekt zvýšení trvanlivosti vrtáku, a tak ulehčení práce obsluhy s broušením nástroje, ale zisk byl menší, než kdyby se použily výrobcem doporučené podmínky a to o 10 procentních bodů.



Graf 1: Ekonomické zhodnocení vrtáku z HSS Ø 14mm

3.2.3 Vstupní hodnoty pro průměr 22mm

Pro vrtání průměru 22mm se před zavedením změn zkoušely tři druhy podmínek pro HSS vrták. Podmínky doporučené výrobcem se upravily dvěma způsoby za účelem zvýšení trvanlivosti nástroje. Srovnání naměřených hodnot pro dané podmínky můžeme vidět v tabulce číslo 6. Z té je patrné, že se úpravou řezných podmínek podařilo operátorům zvýšit trvanlivost nástroje o polovinu. Zvýšení trvanlivosti nástroje ovšem nemusí znamenat zvýšení produktivity výroby.

Podmínky	Posuv (mm/min)	Otáčky (1/min)	Čas (s)	Hloubka díry	Trvanlivost (počet děr)
používané 1	60	300	165	90	12
výrobce	77	350	144	90	10
Používané 2	50	280	182	90	18

Tabulka 6: Vstupní hodnoty pro Ø 22mm

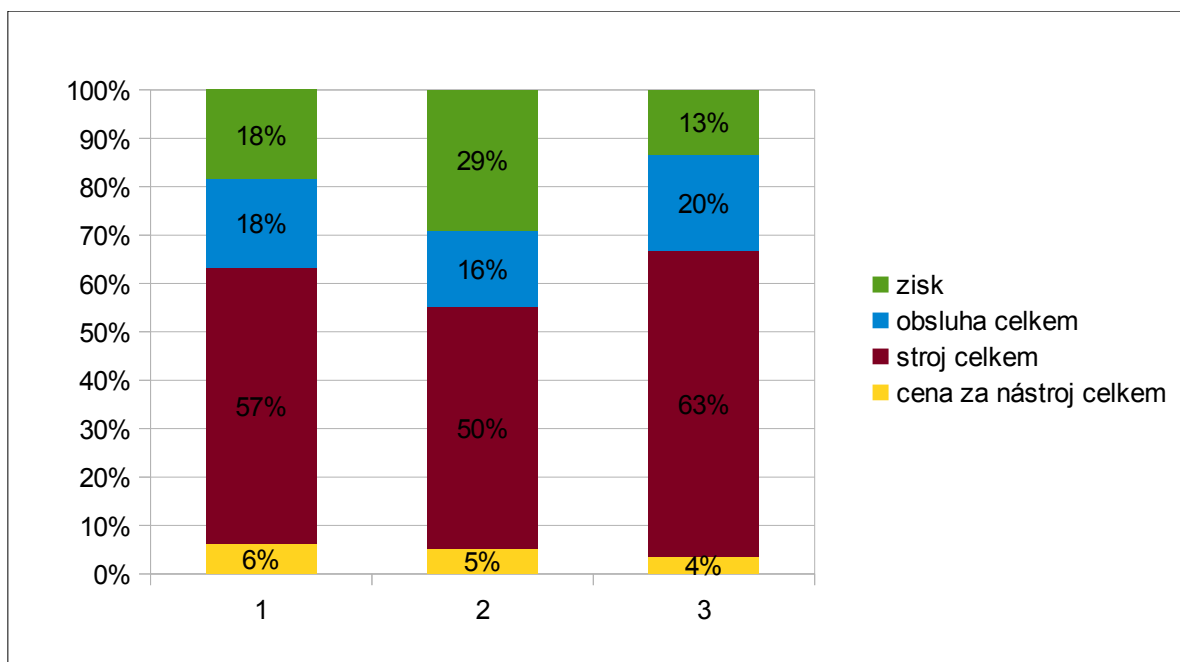
Výběr nejefektivnějšího nastavení

Pro výběr nejefektivnějšího nastavení jsme znovu spočítali ekonomické zhodnocení roční produkce. Hodnoty potřebné k výpočtu a hodnoty vypočtené jsou zapsané v tabulce 7. Dále jsou důležité hodnoty z uvedené tabulky zřehledněny v grafu číslo 2.

Název	Výrobce	Používané 1	Používané 2
roční produkce [ks]	5000,00	5000,00	5000,00
Trvanlivost [ks]	10,00	12,00	18,00
čas na díru [s]	165,00	144,00	182,00
děr za hodinu [ks]	21,82	25,00	19,78
čas na roční produkci [h]	229,17	200,00	252,78
potřebných přebroušení [ks]	500,00	416,67	277,78
čas přebroušení [min]	8,96	8,96	8,96
čas přebroušení celkem [h]	74,67	62,22	41,48
cena nástroje [Kč]	925	925	925
cena přebroušení [Kč]	14933,33	12444,44	8296,30
cena za nástroj celkem [Kč]	15858,33	13369,44	9221,30
stroj na hodinu [Kč]	630,00	630,00	630,00
stroj celkem [Kč]	144375,00	126000,00	159250,00
obsluha na hodinu [Kč]	200,00	200,00	200,00
obsluha celkem [Kč]	45833,33	40000,00	50555,56
výdaje celkem [Kč]	206066,67	179369,44	219026,85
sazba na hodinu [Kč]	1000,00	1000,00	1000,00
sazba celkem [Kč]	229166,67	200000,00	252777,78
zisk [Kč]	46711,11	73408,33	33750,93

Tabulka 7: Ekonomika roční produkce pro vrtání průměru 22 mm

Z grafu číslo 2 je patrné, že úprava podmínek na „Používané 2“ nevedla ke zvýšení zisku. Nejvýhodnější bylo nastavení rezných podmínek upravených jen minimálně, kdy se trvanlivost nástroje zvedla o dvě vrtané díry. Podmínky doporučené výrobcem byly i přes nejmenší trvanlivost nástroje druhé nejefektivnější. Náklady na přebroušení jsou v tomto případě velmi malé, proto zvýšená trvanlivost nemohla vykompenzovat, v případě podmínek „Používané 2“, velký nárůst strojního času a s ním spojených nákladů. Dalším zajímavým zjištěním je fakt, že pouhou úpravou rezné rychlosti pro zvýšení trvanlivosti nástroje, se může zmenšit zisk o 16 procentních bodů.



Graf 2: Ekonomické zhodnocení vrtáku z HSS Ø 22mm

4 Vlastní řešení

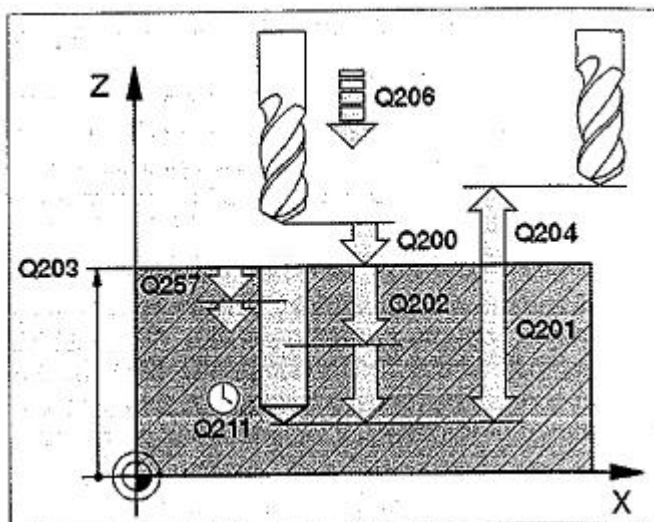
Tato kapitola se věnuje návrhům na zvýšení produktivity vrtání průměrů 14 mm a 22 mm ve firmě FromCad s.r.o. Frýdlant. Pro oba průměry bylo navrženo jiné řešení. Návrhy jsou v dané kapitole popsány a zhodnoceny.

4.1 Shrnutí poznatků o současném stavu výroby

Současný způsob výroby za použití klasických šroubovitých vrtáků z rychlořezné oceli je v dnešní době moderních nástrojů a materiálů neefektivní. Tyto nástroje vyžadují předvrtání a navíc ještě cyklus pro přerušení třísky obr. 4.1 Příklad hodnot jednotlivých kódů a jejich popis je znázorněn v tabulce číslo 8.

Z tabulek vstupních hodnot uvedených v kapitole 3.2 vyplývá, že výroba je velice zdoluhavá a trvanlivost nástroje velmi malá. To platí hlavně pro vrtání průměru 22 mm, kdy je potřeba přebrušovat nástroj několikrát denně.

Dalším negativem jsou nevyužité možnosti obráběcího centra, které umožňuje použití nejmodernějších nástrojů včetně vnitřního chlazení nástroje.



Obr. 4.1: Cyklus vrtání HSS vrtákem

CYCL DEF 205		
Kód	Hodnota	Popis
Q200	2	Bezpečná vzdálenost
Q201	50	Hloubka
Q206	60	Posuv na hloubku
Q202	9	Hloubka přísuvu
Q203	0	Souřadnice povrchu
Q204	100	2. bezpečná vzdálenost
Q212	1	Hodnota odběru
Q205	3	Min. Hloubka přísuvu
Q258	0,2	Výchozí poloha horní
Q259	0,2	Výchozí poloha dolní
Q257	1	Hloubka zlomu třísky
Q56	0,2	Odskok zlomu třísky
Q211	0,2	Časová prodleva dole
CALL LBL		

Tabulka 8: Příklad cyklu pro vrtání HSS vrtákem

4.2 Návrh řešení pro vrtání průměru 14mm

Z předchozí kapitoly vyplývá, že příčinou neefektivní výroby bylo používání zastaralého nástroje a nevyužití všech možností obráběcího centra. Proto byla pozornost věnována výběru správného nástroje a následně na nastavení jeho řezných podmínek.

4.2.1 Popis navrhovaného řešení

Vzhledem k vlastnostem stroje bylo možné vybírat z celé řady nástrojů. S ohledem na dnešní pestrost novinek v oblasti nástrojů, které byla věnována teoretická část, by nebyl výběr úplně jednoduchý. Základním kritériem výběru bylo zvolení vrtáku s VBD, s vyměnitelnou řeznou hlavou, nebo volba monolitního celokarbidového nástroje. Nástroj s VBD byl vyloučen, jelikož většina výrobců nemá tento druh nástroje pro tak malý průměr standardně v nabídce. Jelikož firma FormCad s.r.o. spolupracuje s výrobcí nástrojů Secotools cz a Gühring, byl nástroj vybírán z řad jejich výrobků. Další variantou by byl nástroj s vyměnitelnou špičkou, ale ten podle výrobce nedosahuje takových výkonů jako monolitní vrták. Proto byl nakonec zvolen celokarbidový monolitický vrták.

Po porovnání nabídek obou výrobců byl zvolen nástroj od firmy Gühring, který byl při stejných parametrech levnější. Jedná se o vrták DIN 6537K R-RT Gühring.

Po výběru vrtáku, následoval výběr správných řezných podmínek. Podmínky udávané výrobcem nástroje byly dle informací prodejce, nastavené na co nejvyšší řeznou rychlost, ovšem na úkor jeho trvanlivosti. Proto byly dané podmínky upraveny a následně jejich výsledky porovnány.

4.2.2 Hodnocení návrhu řešení pro vrtání průměru 14 mm

Nákupem nového, lepšího nástroje bylo docíleno plného využití stroje. A to zvýšením řezné rychlosti a zapojením vnitřního chlazení.

Zjištěné hodnoty po provedené změně jsou uvedeny v tabulce 9, kde jsou zřetelné rozdíly mezi zkoušenými podmínkami a podmínkami doporučenými výrobcem. Při porovnání strojních časů a trvanlivosti nástroje v tabulkách 4 a 9 zjistíme, že navrženým řešením bylo dosaženo až 5ti násobného zrychlení při 5ti násobně zvýšené trvanlivosti nástroje.

<i>podmínky</i>	<i>Posuv (mm/min)</i>	<i>Otáčky (1/min)</i>	<i>Čas (s)</i>	<i>Hloubka díry</i>	<i>Trvanlivost (Počet děr)</i>
výrobce	295	1477	11	50	350
volené	218	1364	14	50	500

Tabulka 9: Naměřené hodnoty pro průměr 14mm

Pro výběr nejefektivnějšího nastavení slouží porovnání ekonomiky produkce s předchozím stavem výroby. Jeho výpočet pro monolitní vrták se od výpočtu pro klasický vrták mírně lišil. Odpadl zde totiž složitý výpočet nákladů na přeoštění nástroje a tím se změnil výpočet celkových nákladů na nástroj. Postup pro výpočet je popsán níže. Ostatní hodnoty byly počítány stejně jako v kapitole 3.1.1. Výpočtové hodnoty jsou zapsány v tabulce číslo 10.

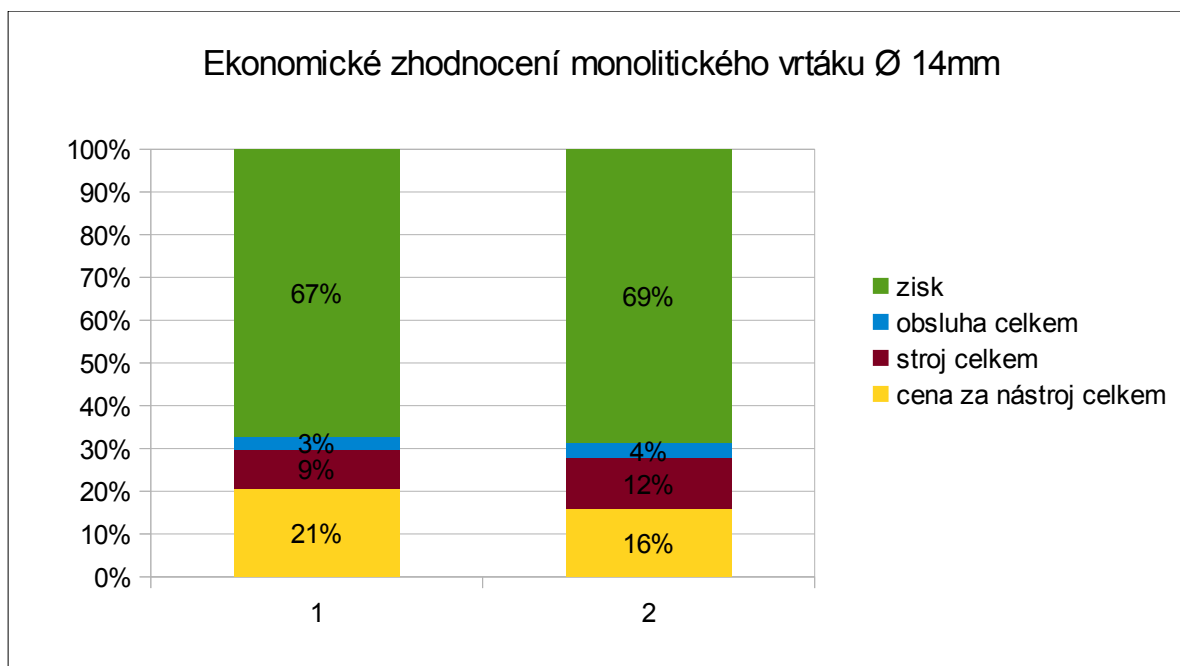


Celokarbidový vrták si nemůže firma přeastřit sama a proto je nutné nástroj posílat na přeastření. Cena za jedno přeastření byla tedy daná a pro získání celkových nákladů na přebroušení bylo potřeba ji vynásobit potřebným počtem přeastření, který byl vypočten vydělením roční produkce trvanlivostí nástroje.

Celkové náklady na nástroj byly získány po sečtení ceny nástroje s náklady na přeastření. Čas výměny nástroje zde bylo možné zanedbat, jelikož je velmi malý a trvanlivost nástroje velká.

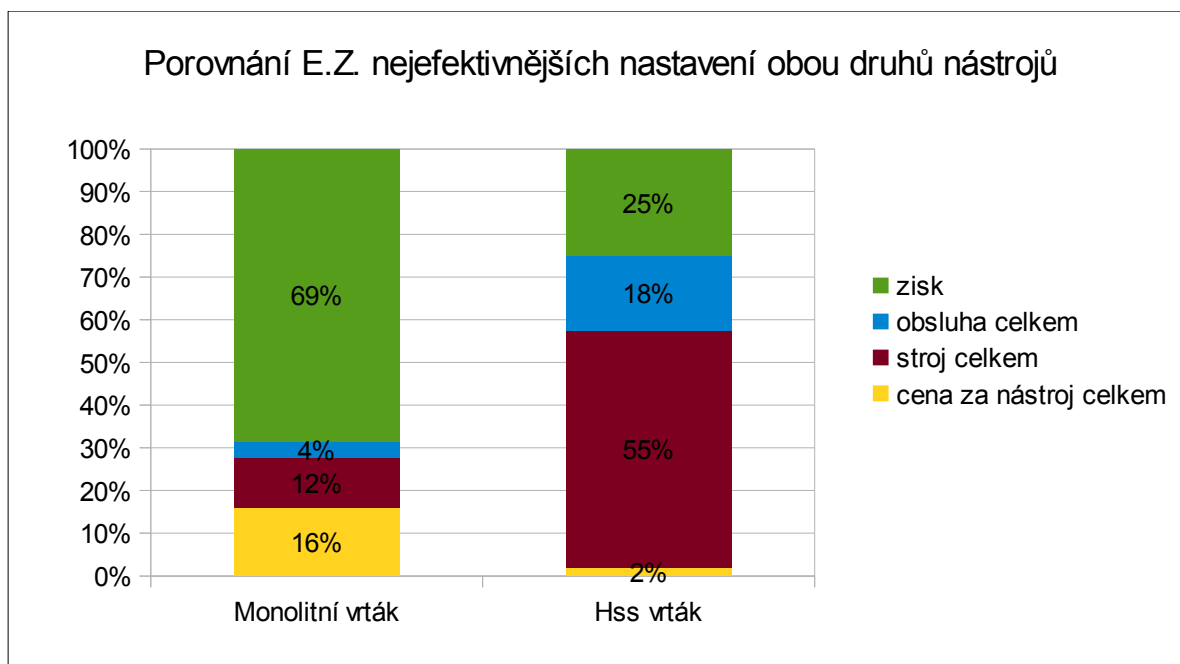
Název	Výrobce	Volené
roční produkce [ks]	2500,00	2500,00
trvanlivost [ks]	350,00	500,00
čas na díru [s]	11,00	14,00
děr/h [ks]	327,27	257,14
čas na roční produkci [h]	7,64	9,72
potřebných přebroušení [ks]	7,14	5,00
cena přebroušení [Kč]	1120,00	1120,00
cena nástroje [Kč]	2700,00	2700,00
cena za nástroj celkem [Kč]	10700,00	8300,00
stroj na hodinu [Kč]	630,00	630,00
stroj celkem [Kč]	4812,50	6125,00
obsluha na hodinu [Kč]	200,00	200,00
obsluha celkem [Kč]	1527,78	1944,44
výdaje celkem [Kč]	17040,28	16369,44
zisk [Kč]	35043,06	35713,89

Tabulka 10: Ekonomické zhodnocení monolitního vrtáku průměr 14 mm



Graf 3: Ekonomické zhodnocení monolitického vrtáku Ø 14mm

Z grafu 3 je patrné, že na rozdíl od vrtáků z rychlořezné oceli, je výhodnější upravené nastavení, než nastavení doporučené výrobcem. Důvodem je zvýšená trvanlivost nástroje a jen nepatrně snížený strojní čas výroby. Další zajímavé zjištění je vidět při porovnání grafu číslo 1 a grafu číslo 3. Z toho vyplývá, že při použití monolitního vrtáku nemá změna řezné rychlosti, na rozdíl od klasického HSS nástroje, tak velký dopad na celkovou výnosnost práce. Pro porovnání ziskovosti nejefektivnějších nastavení obou druhů nástrojů slouží graf 4, ze kterého je patrné, že použitím nového nástroje bylo dosaženo zvýšení zisku o 44 procentních bodů.



Graf 4: Porovnání E.Z. nejefektivnějších nastavení obou druhů nástrojů

4.3 Návrh řešení pro vrtání průměru 22mm

Při navrhování zlepšení jsme postupovali stejným způsobem jako v kapitole 3.2.1. Zaměřili jsme se opět na výběr správného vrtáku.

4.3.1 Popis navrhovaného řešení

Během hledání vhodného nástroje pro zvýšení produktivity vrtání pro průměr 14 mm, bylo nutné upustit od vrtáků s VBD kvůli malým rozměrům vrtané díry. V tomto případě tento problém odpadl a proto byl výběr zaměřen na nástroje s VBD. Tento typ vrtáků vyrábí spousta firem, ale jak již bylo zmíněno v kapitole 4.2.1, firma FormCad s.r.o. nejblíže spolupracuje s výrobcem nástrojů Seco Tools CZ, s.r.o. Vybrán byl tedy vrták SO505-22-110-25R7, a břitové destičky SP6X0703-C1 (centrální destička), destičky SP6X0703-P2 (krajová destička) od výše zmíněného výrobce.

Po výběru nástroje následoval návrh řezných podmínek. Jako v předchozím návrhu byly řezné podmínky dané výrobcem, které byly nastavené na nejvyšší možnou řeznou rychlost, upraveny. Protože obrábíme nástrojovou ocel, byla snížena

řezná rychlost a to ve dvou krocích. Následně byly výsledky všech tří nastavení porovnány.

4.3.2 Hodnocení návrhu na zlepšení pro vrtání průměru 22 mm

Nákupem nového a moderního nástroje bylo opět docíleno plného využití obráběcího centra. Bylo zapojeno vnitřní chlazení a vyšší řezné rychlosti.

Hodnoty naměřené po zavedení nástroje do výroby ukazuje tabulka číslo 11. Při porovnání trvanlivosti nástroje při podmínkách daných výrobcem a podmínkách upravených je patrné, že jejich úpravou bylo docíleno navýšení trvanlivosti nástroje téměř trojnásobně.

<i>Podmínky</i>	<i>Posuv (mm/min)</i>	<i>Otáčky (1/min)</i>	<i>Čas (s)</i>	<i>Hloubka díry</i>	<i>Trvanlivost (počet děr)</i>
Volené 1	170	2480	32	90	33
Výrobce	218	2730	25	90	18
Volené 2	130	2100	42	90	53

Tabulka 11: Naměřené hodnoty pro průměr 22mm

Čas výměny destiček

Pro další hodnocení bylo nutné znát čas potřebný k výměně břitových destiček. Pro každého pracovníka zde bylo provedeno 6 měření celkového času na výměnu břitových destiček. Dohromady bylo získáno 30 hodnot, z nichž byl určen aritmetický průměr, který byl následně dosazován do matematických výpočtů.

Jelikož výměna břitové destičky je téměř stejný úkon jako pootočení na novou řeznou hranu, nebylo měření provedeno zvlášť, ale pootočení a výměna destičky byla považována za jeden úkon.

V tabulce číslo 12 je vidět, že v časech na výměnu nebyly u jednotlivých pracovníků velké rozdíly. A to i přesto, že některé časy jsou, jak bylo zmíněno výše, pro výměnu destičky a některé jen pro její pootočení.

	1	2	3	4	5	6	X (min)
A	1,89	2,12	2,07	1,92	1,88	2,11	1,99
B	1,95	2,08	1,87	1,86	2,07	1,93	
C	2,05	1,86	2,04	2,05	1,91	1,89	
D	1,98	2,07	1,88	1,97	2,04	2,02	
E	1,97	2,06	2,03	1,87	2,03	2,09	

Tabulka 12: Čas na výměnu břitové destičky

Výběr nejefektivnějšího nastavení stroje

Pro zvolení správného nastavení nám opět slouží ukazatel ekonomického zhodnocení. Jelikož byl vybrán nástroj s VBD bylo nutné znovu upravit jeho výpočet. Při výpočtu ekonomiky roční produkce pro nástroj s VBD byl postup stejný, jako pro HSS vrták popsáný v kapitole 3.1.1. Výpočet se liší pouze v nákladech na nástroj. Díky VBD odpadla nutnost ostření nástroje, ovšem přibyla výměna břitových destiček. Postup jakým byly hodnoty pro výpočet nákladů získány, je popsán níže. Výpočtové hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 13 a zřehledněny do grafu číslo 5.

Náklady na nástroj s VBD

Pro výpočet celkových nákladů na nástroj bylo nutné znát čas výměny destiček, jejich počet potřebný pro pokrytí roční produkce a nakonec jejich cenu.

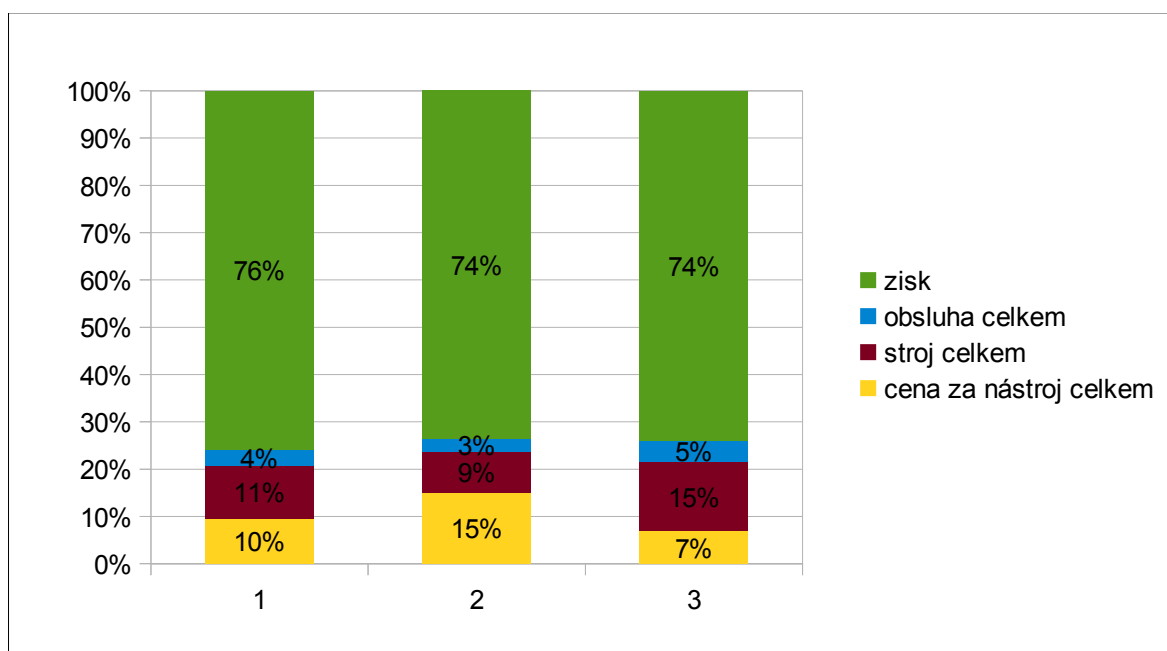
Při výpočtu počtu potřebných destiček a jejich ceny, byla vydělena roční produkce počtem vyvrtaných děr bez nutnosti výměny destiček. Výsledkem byl počet potřebných hran destiček, což je zároveň i nutný počet pootočení, či výměny destičky.

Pro výpočet ceny spotřebovaných destiček na roční produkci počítáme s tím, že zvolený nástroj má dva druhy destiček. Jednu centrální SP6x0703-C1 a jednu krajovou SP6x0703- P2. Proto bylo nutné spočítat cenu spotřebovaných destiček C1, cenu destiček P2 a následně vypočtené hodnoty sečíst. Objednávané destičky mají čtyři řezné hrany. Roční spotřebu každého ze dvou druhů destiček získáme, když vydělíme počet nutných pootočení destiček počtem jejich hran. Pro zjištění konečné ceny za destičky pak tuto hodnotu stačí vynásobit cenou destičky.

Pro zjištění nákladů na výměnu destiček byl vynásoben čas na výměnu destičky s počtem jejich nutných pootočení.

Název	Volené 1	Výrobce	Volené 2
roční produkce [ks]	5000,00	5000,00	5000,00
trvanlivost [ks]	33,00	18,00	56,00
čas na díru [s]	32,00	25,00	42,00
děr/h [ks]	112,50	144,00	85,71
čas na roční produkci [h]	44,44	34,72	58,33
potřebných přebroušení [ks]	151,52	277,78	89,29
počet destiček 1 [ks]	37,88	69,44	22,32
počet destiček 2 [ks]	37,88	69,44	22,32
cena destičky 1 [Kč]	207,20	207,20	207,20
cena destičky 2 [Kč]	212,20	212,20	212,20
čas výměny destiček [min]	1,99	1,99	1,99
čas výměny celkem [h]	2,51	4,61	1,48
cena prostroje z výměny [Kč]	502,53	921,30	296,13
cena nástroje [Kč]	7840,00	7840,00	7840,00
cena za nástroj celkem [Kč]	24228,89	37886,30	17497,74
stroj na hodinu [Kč]	630,00	630,00	630,00
stroj celkem [Kč]	28000,00	21875,00	36750,00
obsluha na hodinu [Kč]	200,00	200,00	200,00
obsluha celkem [Kč]	8888,89	6944,44	11666,67
výdaje celkem [Kč]	61117,78	66705,74	65914,40
zisk [Kč]	191660,00	186072,04	186863,37

Tabulka 13: Ekonomické zhodnocení vrtáku s VBD průměr 22 mm

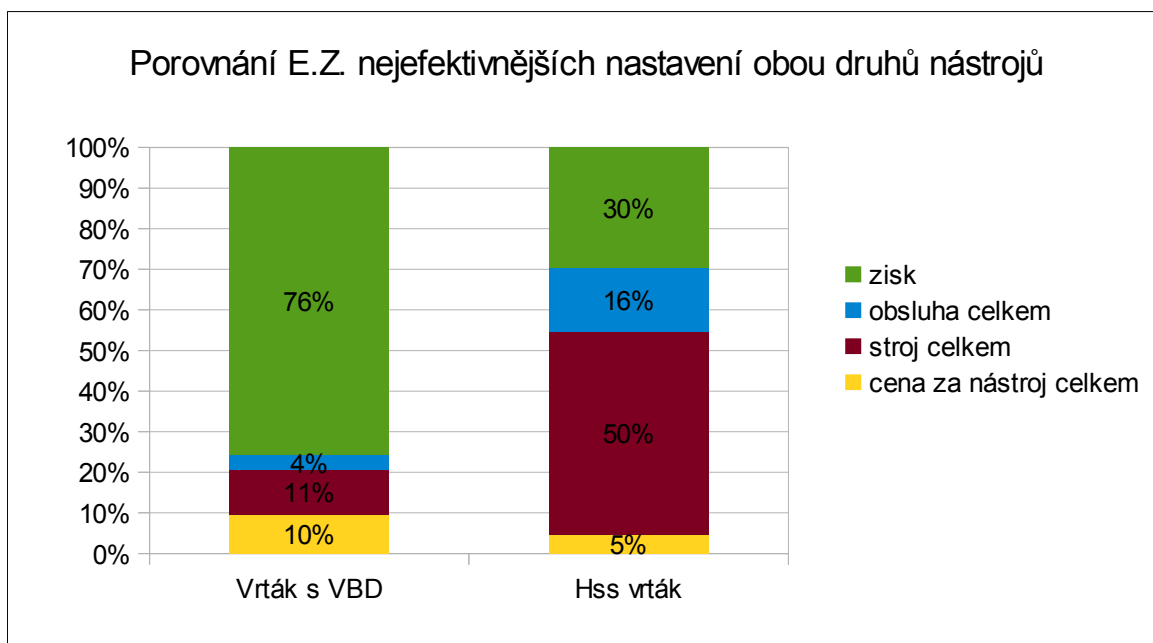


Graf 5: Ekonomické zhodnocení vrtáku s VBD Ø 22mm

V grafu 5 je znázorněno porovnání ziskovosti jednotlivých nastavení vůči nejpoužívanějším řezným podmínkám starého nástroje. Porovnáním tabulky číslo 11 a grafu číslo 5 zjistíme, že i přes téměř trojnásobnou trvanlivost nástroje jsou podmínky „Volené 2“ stejně ziskové, jako podmínky stanovené výrobcem. Jak ukazuje graf je to dáno tím, že prodloužením času výroby se nám více zvedly náklady na stroj a dosažené snížení nákladů na nástroj toto navýšení nedokázalo vykompenzovat. Dalším zajímavým efektem při použití navrženého nástroje je opět snížená citlivost ziskovosti na navržených podmínkách.

Při porovnání grafu číslo 2 a grafu číslo 5 zjistíme, že při používání jiných podmínek u starého nástroje klesla ziskovost o 16 procentních bodů, zatímco u navrhovaného řešení o pouhé 2 procentní body.

Dále je z grafu 5 patrné, že nejefektivnější je nastavení podmínek 1, které jsou kompromisem mezi rychlostí a trvanlivostí nástroje. Ekonomické zhodnocení za výše uvedených podmínek je pro zpřehlednění porovnané s nejefektivnějším nastavením před změnou nástroje v grafu číslo 6. z grafu je patrné, že změnou nástroje bylo dosaženo zvýšení zisku o 46 procentních bodů.



Graf 6: Porovnání E.Z. nejefektivnějších nastavení obou druhů nástrojů

5 Diskuze výsledků

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo zvýšení produktivity vrtání děr pro výrobu závitů M16 a M24 na vodící liště vstřikovací formy ve firmě Form Cad s.r.o. Frýdlant v Čechách.

Pro navržení správného řešení řešené problematiky byla provedena analýza stávajícího stavu výroby. Na základě výše zmíněné analýzy a zhodnocení naměřených vstupních hodnot, byla pozornost věnována zlepšení ekonomického zhodnocení vrtání výše uvedených děr.

Hlavním záměrem bylo nalézt nové řešení pro zvýšení produktivity vrtání průměru 14 mm a 22 mm na vodící liště vstřikovací formy ve Firmě Form Cad s.r.o. Frýdlant v Čechách s ohledem na dodržení předepsané kvality a udržení výše roční produkce děr.

Práce na tomto pracovišti běží ve dvou směnném provozu, kdy se u daného stroje střídá pět operátorů. Roční produkce je u obou průměrů jiná. V případě průměru 14 mm je to cca 2500 děr ročně a u průměru 22 mm je to cca 5000 děr ročně. Daná roční produkce je závislá na počtu vyráběných vodících lišt. Jelikož se jedná o nástrojárnu s malosériovou a kusovou výrobou byla celková produkce vrtaných otvorů kvalifikovaně odhadnuta.

Měření vstupních hodnot bylo provedeno po předchozím pozorování výroby. Naměřené hodnoty byly zapisovány do předem připraveného pozorovacího listu

Měření bylo prováděno ve dvou směnách. Měření časových hodnot probíhalo pro každého operátora stroje. Měřidlem jednotlivých časů bylo měřidlo na odměřování časových intervalů. Metodika měření je popsána v kapitole 3.1.

Výsledky měření byly zpracovány do tabulek vstupních hodnot. Tyto hodnoty byly dále zpracovány pro výpočet ekonomiky roční produkce a výsledky zaneseny do grafů. Vzhledem k těmto provedeným měřením a výpočtům bylo zjištěno, že řezné podmínky upravené obsluhou stroje jsou značně neefektivní (viz. kapitola 3.2).

V kapitole 4 jsou popsána možná řešení pro jednotlivé průměry. Dále jsou tato řešení zhodnocena a porovnána s předchozím stavem výroby.

Návrh na zlepšení pro vrtání průměru 14 mm (kapitola 4.2) zahrnuje nákup nového moderního nástroje a to celokarbidového monolitního vrtáku značky Gühring.

Zmíněným krokem bylo docíleno zvýšení trvanlivosti nástroje až pětinasobně a snížením strojního času dokonce až šestinasobně. Původní zisk počítaný pro roční produkci byl 15 %. Při použití starého nástroje a optimalizaci řezných podmínek bylo možné dosáhnout zisku 25 %. Ovšem po změně nástroje a opětovné optimalizaci řezných podmínek pro nový nástroj se zisk zvedl na 69 %. Dalším efektem navrženého zlepšení je minimalizování vlivu úprav řezných podmínek na ziskovost výroby. Jak dokazuje graf 3, lišil se zisk změnou podmínek u nového nástroje o pouhé dva procentní body.

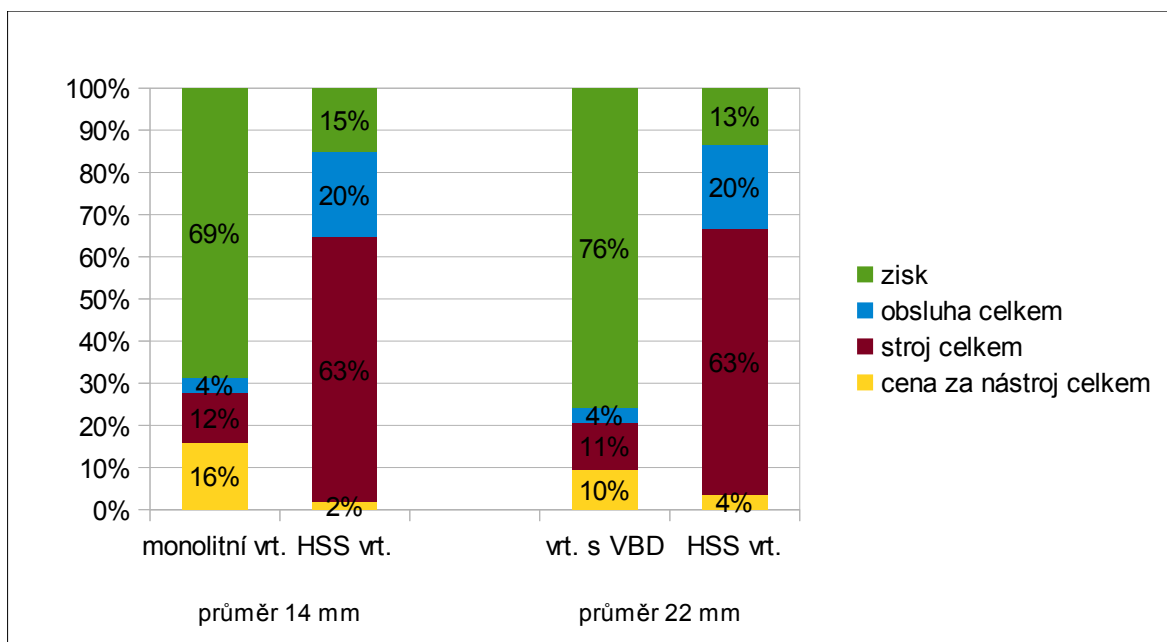
Návrh na zlepšení vrtání průměru 22 mm (kapitola 4.3) představuje stejně jako návrh na zlepšení vrtání průměru 14mm nalezení nového nástroje, který by zvýšil produktivitu výroby dané díry.

Ovšem pro průměr 22 mm byl jako nejvhodnější nástroj zvolen vrták s VBD od výrobce Seco Tools CZ, s.r.o. s označením SD505-22-11025RT. K uvedenému nástroji přísluší dva druhy břitových destiček. Centrální SP6X0703-C1 a krajová SP6X0703-P2.

Zavedením zvoleného nástroje do výroby bylo docíleno zvýšení trvanlivosti nástroje a snížení strojního času téměř šestinasobně. Původní zisk počítaný pro roční produkci 5000 děr byl 13%. Úpravou řezných podmínek za použití starého nástroje bylo možné dosáhnout zisku 29%. Použitím nového nástroje se ale podařilo plně využít možnosti obráběcího centra a dosáhnout zisku až 76 procent.

I v tomto případě se ukázalo, že navržením a zavedením nového nástroje je možné eliminovat dopad řezných podmínek na ziskovost výroby. Jak je patrné z grafu číslo 5 i přes velmi odlišné řezné rychlosti a s téměř čtyřnásobným rozdílem v trvanlivosti nástroje, bylo možné dosáhnout stejného zisku a to 74 %.

Pro celkové zhodnocení a zřehlednění výsledků dosažených navrhovanými řešeními slouží graf číslo 7.



Graf 7: Konečné srovnání E.Z. jednotlivých nástrojů

Graf číslo 7 porovnává ekonomické zhodnocení nejneefektivnějšího nastavení původně používaného HSS vrtáku s nejefektivnějším nastavením nově navrženého nástroje. Z grafu číslo 7 je patrné, že rozdíl v ziskovosti výroby byl až 66 procentních bodů u vrtání průměru 22 mm a 54 procentních bodů u vrtání průměru 14 mm.

6 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zvýšit produktivitu vrtání děr pro závity M16 a M24 ve vodící liště vstřikovací formy ve firmě FormCad s.r.o. Frýdlant v Čechách.

V úvodní části bakalářské práce byla provedena analýza stávajícího stavu výroby daných děr na obráběcím centru MCV 1270.

Na základě provedené analýzy byla navržena metodika měření, jakou byly získávány jednotlivé hodnoty, potřebné pro navržení správného řešení a jeho následného zhodnocení. Nejdůležitější částí bakalářské práce je návrh vlastního řešení, jeho rozbor a následné zhodnocení. Po analýze stávajícího stavu výroby bylo navrženo zajistit zlepšení produktivity výroby nákupem nového nástroje. Jelikož se jednalo o dva odlišné průměry, byl z ekonomických důvodů navržen pro každý průměr jiný nástroj.

Zavedením nových nástrojů do výroby bylo dosaženo plného využití možností obráběcího centra, jako jsou velmi vysoké otáčky a vnitřní chlazení nástrojů. Hlavním efektem bylo zvýšení produktivity výroby, kterou dokazuje pětinasobné zvýšení řezných rychlostí a trvanlivostí nástrojů a hlavně zvýšení možné ziskovosti výroby až o 47 procentních bodů u vrtání průměru 22 mm a až o 44 procentních bodů u vrtání průměru 14 mm oproti původnímu způsobu výroby.

Výsledkem této bakalářské práce jsou navržená nová řešení, která byla zrealizována na základě naměřených vstupních hodnot zpřehledněných do tabulek a grafů. Zavedením návrhů do praxe bylo docíleno plného využití možností stroje a úspory času výroby, která vede ke zvýšení zisků a možnostem přijímat více zakázek.



Použité zdroje a literatura

- [1] ŘASA, J., GABRIEL, V.. *Strojírenská technologie 3 – 1.díl.* 2000. 1.vyd. Scientia, ISBN 80-7183-207-3.
- [2] NĚMEC, D. a kolektiv. *Strojírenská technologie 3: Strojní obrábění.* 1979. 1 vyd. Praha: SNTL.
- [3] MM průmyslové spektrum. *Produktivní nástroje pro vrtání.*
Dostupné na Internetu: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/produktivni-nastroje-pro-vrtani.html>>.
- [4] HORVÁTH, Evžen. *Nová řada zdokonalených vrtáků.*
Dostupné na Internetu: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nova-rada-zdokonalenych-vrtaku.html>>.
- [5] GRINCH, Jan. *Nové sorty v PVD a CVD povlakování.* Dostupné na Internetu: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-sorty-s-pvd-a-cvd-povlaky.html>>.
- [6] HOLUBÁŘ, P., ZINDULKA, O.. *Světová novinka v PVD povlacích.*
Dostupné na Internetu: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/svetova-novinka-v-pvd-povlacich.html>>.
- [7] MAREK, J.. *Konstrukce CNC obráběcích strojů.* 2010. 2. vyd. MM publishing. ISBN 987-80-254-7980-3.
- [8] Dostupné na Internetu: <<http://shm-cz.cz/cs/technicke-informace/pvd-technologie-shm>>.
- [9] Dostupné na Internetu: <<http://www.kovosvit.cz/cz/mcv-1270/>>.
- [10] Dostupné na Internetu: <<http://www.formcad.cz/index.php?clanek=prezentace&jazyk=>>>.
- [11] Dostupné na Internetu: <<http://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojova-ocel-12343>>.
- [12] Dostupné na Internetu: <<http://www.tumlikovo.cz/legovane-nastrojove-oceli-tridy-19-jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/#more-2895>>.
- [13] Dostupné na Internetu: <<http://www.tumlikovo.cz/vliv-jednotlivych-prvku-na-vlastnosti-oceli/>>.
- [13] Dostupné na Internetu:
<http://www.kovosvit.cz/_data_app_sections/downloads/cz/mcv_line_cz_pl-web.pdf>.



- [15] GRINCH, Jan. *Vrtání vysokými posuvy*. Dostupné na Internetu: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vrtani-vysokymi-posuvy.html>>.
- [16] NOVÁK, Zdeněk. *Moderní nástroje zvyšují produktivitu vrtání*. Dostupné na Internetu: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-nastroje-zvysuji-produktivitu-vrtani.html>>.
- [17] Dostupné na Internetu: <<http://www.bohemiatrader.cz/vrtak-na-keramiku-ytong-stredici/80.0257-2,vrtak-d8mm-na-keramiku.html>>.
- [18] Dostupné na Internetu: <<http://www.olejshop.cz/naradi/vrtaky-do-kovu/p/vrtak-do-kovu-spiralovy-17mm/>>.
- [19] Dostupné na Internetu: <<http://www.zalevno.cz/z/436991/naradi-a-stroje/vrtacky-a-kladiva/stojanova-vrtacka-asist-450w>>.
- [20] Dostupné na Internetu: <<http://www.apj.cz/nove-stroje/radialni-vrtacky/vrtacka-otocna-montazni-vom-50>>.
- [21] Dostupné na Internetu: <<http://www.heltos.cz/sloupove-vrtacky-1-10.html>>.
- [22] Dostupné na Internetu: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vrtani-hlubokych-otvoru-na-obrabecich-centrech.html>>.
- [23] AB Sandvik Coromant. *Příručka obrábění*. 1997 1. české vyd. Praha: Scientia, ISBN 91-97 22 99-4-6.



Seznam obrázků

Obr. 2.1: T. Vrtání [22].....	10
Obr. 2.2: Stojanová vrtačka [19].....	12
Obr. 2.3: Sloupová vrtačka [20].....	12
Obr. 2.4: Radiální vrtačka [21].....	12
Obr. 2.5: Kopinatý vrták [17].....	12
Obr. 2.6: Dělový vrták [22]	13
Obr. 2.7: Šroubovitý vrták [18].....	13
Obr. 2.8: Popis šroubovitého vrtáku [2].....	14
Obr. 2.9: Stupňovitý vrták [16].....	14
Obr. 2.10: Vrták s vyměnitelnou hlavou a vrcholovým úhlem [16].....	16
Obr. 2.11: Vrták s VBD [15].....	16
Obr. 2.12: Karbidový monolitický vrták	17
Obr. 2.13: Způsoby vnitřního chlazení [4].....	18
Obr. 2.14: Metoda PVD [8].....	20
Obr. 2.15: MCV 1270 [9].....	21
Obr. 4.1: Cyklus vrtání HSS vrtákem.....	31



Seznam tabulek

Tabulka 1: Používané řezné podmínky [1].....	15
Tabulka 2: Chemické složení [11].....	22
Tabulka 3: Čas operace přeostření.....	26
Tabulka 4: Vstupní hodnoty pro Ø 14mm.....	27
Tabulka 5: Ekonomika roční produkce pro vrtání průměru 14 mm.....	27
Tabulka 6: Vstupní hodnoty pro Ø 22mm.....	29
Tabulka 7: Ekonomika roční produkce pro vrtání průměru 22 mm.....	29
Tabulka 8: Příklad cyklu pro vrtání HSS vrtákem.....	32
Tabulka 9: Naměřené hodnoty pro průměr 14mm.....	33
Tabulka 10: Ekonomické zhodnocení monolitního vrtáku průměr 14 mm.....	34
Tabulka 11: Naměřené hodnoty pro průměr 22mm.....	37
Tabulka 12: Čas na výměnu břitové destičky.....	38
Tabulka 13: Ekonomické zhodnocení vrtáku s VBD průměr 22 mm.....	39



Seznam grafů

Graf 1: Ekonomické zhodnocení vrtáku z HSS Ø 14mm	str. 27
Graf 2: Ekonomické zhodnocení vrtáku z HSS Ø 22mm	str. 29
Graf 3: Ekonomické zhodnocení monolitického vrtáku Ø 14mm	str. 34
Graf 4: Porovnání E.Z. nejefektivnějších nastavení obou druhů nástrojů	str. 35
Graf 5: Ekonomické zhodnocení vrtáku s VBD Ø 22mm	str. 38
Graf 6: Porovnání E.Z. nejefektivnějších nastavení obou druhů nástrojů	str. 39
Graf 7: Konečné srovnání E.Z. jednotlivých nástrojů	str. 42



Seznam příloh

Příloha č.1: Databáze naměřených hodnot

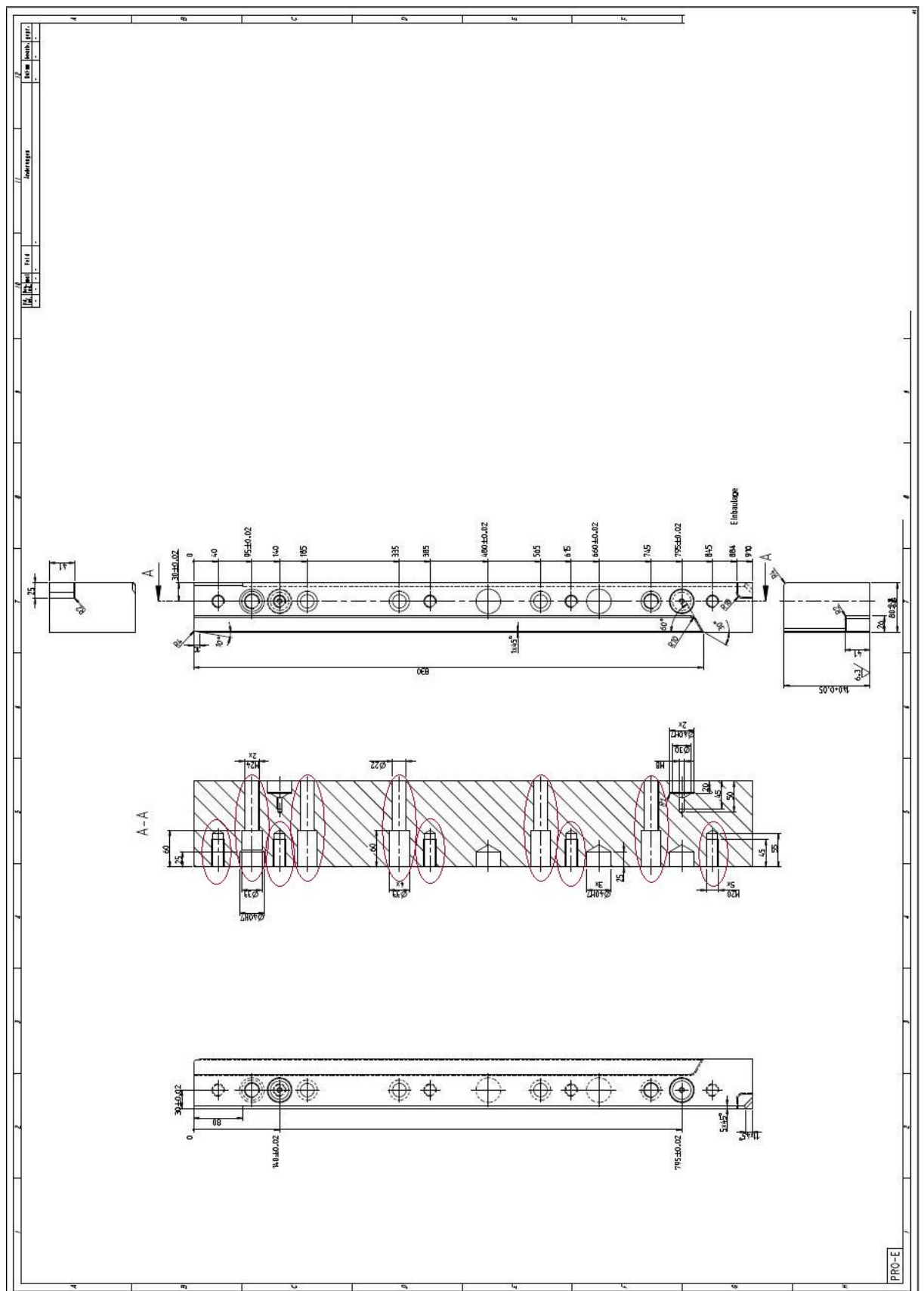
Příloha č.2: Typový výkres obrobku

Příloha č.3: Výrobní postup typového výrobku

Příloha č. 1

Databáze naměřených hodnot

Příloha č. 2



Číslo operace	Pracoviště	Popis práce	Výsledný čas
5	dělení materiálu	polotovar 160x100x745	
10	frézka FV5	frézovat rozměr 142,5x82,5x745	2,5 Nh
15	horizontka WH10	frézovat na délku 737 mm	0,5 Nh
20	MCV 1270	vrtat otvory pro šrouby, závitové otvory na hotovo D40 H7 na D38, drážky frézovat s přídávkem 1 mm	5nh
25	zámečnick	odjehlit, řezat závit	0,25 Nh
30	kalírna	kalit na tvrdost 50 ⁺⁴ HRC	
35	MCV 1270	Frézovat rozměr 140,5x80x737	1,25 Nh
40	bruska BPV	brousit rozměr 80x140 na hotovo	1,75 Nh
45	MCV1270	D40H7 a drážky na hotovo	2,25 Nh
50	horizontka WH10	frézovat drážku na hotovo	0,5 Nh
55	zámečnick	odjehlit	1 Nh